

ПОДБОР СОСТАВА ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ГАЗОБЕТОНА С УЧЕТОМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КЛАДКА – ШТУКАТУРНОЕ ПОКРЫТИЕ»

В.А. ПАРУТА канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина, Е.В. БРЫНЗИН, канд. техн. наук; ООО «ЮДК», г. Днепрпетровск, Украина

В статье рассматриваются вопросы применения однослойных штукатурных систем для автоклавного газобетона. В частности, отмечается, что появление трещин в таком покрытии зачастую связано с тем, что состав штукатурки не в полной мере учитывает совместимость ее работы с газобетонным основанием.



Парута Валентин Анатольевич



Брынзин Евгений Викторович

Подбор составов штукатурных растворов для автоклавного газобетона и разработка технологии их применения являются актуальными задачами. Одним из таких решений является технология трехслойной штукатурки, в соответствии с которой на загрунтованную поверхность наносят первый слой толщиной 2-3 мм, затем второй, выравнивающий, толщиной 5-7 мм, а после – защитно-отделочный слой [9]. Получаемая по такому способу система «бетон – покрытие» отличается достаточно высокой паропроницаемостью и низким водопоглощением при капиллярном подсосе [9]. Недостатком технологии является снижение производительности и напряжения, присущие многослойным композитам, что приводит к уменьшению долговечности штукатурки. Поэтому целесообразно применение однослойных штукатурных систем.

Однако достаточно часто приходится наблюдать трещинообразование в однослойном штукатурном покрытии и в контактной зоне его с газобетонной кладкой. Это приводит к разрушению штукатурки, ухудшению теплоизоляционных параметров ограждающей конструкции и уменьшению ее долговечности.

Происходит это из-за того, что при подборе состава штукатурки не в полной мере учитывается совместимость ее работы с газобетонным основанием. Не учитывают этот фактор и нормативные документы. Например, в СТО 501-52-01-2007 [5] указаны технические требования: сопротивление паропроницанию, водонепроницаемость через 24 часа, адгезия к ячеистому бетону, морозостойкость, устойчивость к разрыву по трещине в ячеистом бетоне, стойкость к переменному увлажнению и высушиванию. Европейский стандарт EN

998-1:2003 [6] дополнительно к вышеперечисленным свойствам требует декларирования: средней плотности раствора, класса по прочности на сжатие, теплопроводности и огнестойкости.

Этого, по нашему мнению, недостаточно для того, чтобы обеспечить совместность работы газобетонной кладки и штукатурного покрытия, а следовательно, и высокую долговечность ограждающей конструкции. Необходимо учитывать не только соотношение их паропроницаемости, но и прочности при сжатии и растяжении, модуля упругости, деформаций (температурных, влажностных, карбонизационных). Нельзя назначать один и тот же состав раствора для газобетонных блоков со средней плотностью 300 и 700 кг/м³.

На влияние разности модулей упругости основания и штукатурного покрытия на прочность сцепления между ними указывали в своих работах Я. Паплавскис, А. Фрош, Э. Грану [4, 7], однако только синхронизации этого показателя тоже недостаточно. Стеновую конструкцию следует рассматривать как систему «основание – покрытие», в которой в зависимости от свойств материала кладки и с учетом условий эксплуатации ограждающей конструкции необходимо целенаправленно подбирать составы штукатурной смеси.

Для понимания того, какие свойства необходимо регулировать и какая должна быть их величина, нужно знать процессы, протекающие при нанесении раствора и его твердении. Важным является рассмотрение механики разрушения в системе «кладка – покрытие». Изучение причин возникновения напряжений в системе, образования и развитие трещин является предварительным условием в построении теории разрушения, что позволит описать ход разрушения, предсказать поведение системы «кладка – покрытие» во времени, разработать рекомендации по предотвращению деструктивных процессов и повышению долговечности ограждающей конструкции.

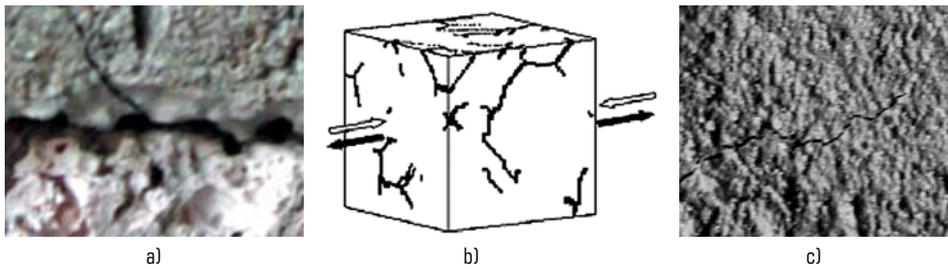


Рисунок 1. Трещинообразование: а) в контактной зоне «газобетонное основание – штукатурное покрытие», б) в объеме, с) на поверхности штукатурного раствора

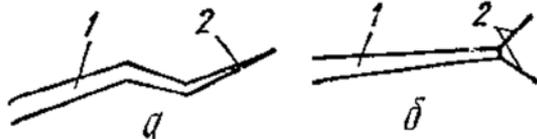


Рисунок 2. Развитие трещин в штукатурке при эксплуатации

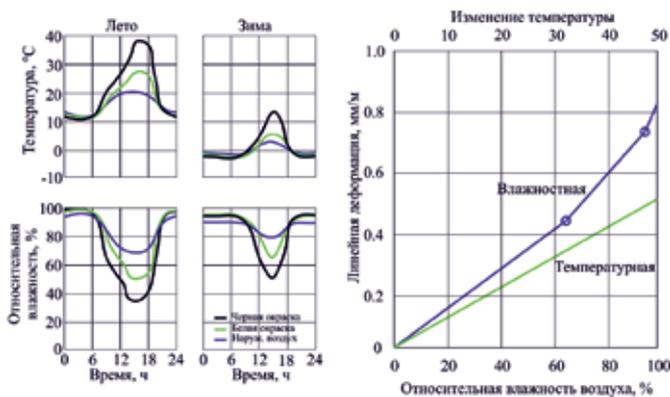


Рисунок 3. Графики изменения температуры и влажности стеновой конструкции

В последние годы большое развитие получила механика хрупкого разрушения, берущая начало от работ Гриффитса, Орована, Ирвина и занимающаяся изучением процесса разрушения. Полностью перенести на них механику хрупкого разрушения не представляется возможным, поэтому необходима разработка теории механики разрушения именно штукатурных растворов.

Трещины в штукатурке подразделяются на две группы – образовавшиеся при нанесении, твердении и эксплуатационные. При нанесении штукатурной смеси на кладку из-за высокого капиллярного потенциала газобетона происходит отсос влаги из твердеющего раствора, испарение ее под воздействием солнечных лучей и воздушных потоков. Из-за недостатка влаги не происходит полной гидратации цементного камня, что приводит к снижению прочности при растяжении штукатурного раствора, которая составляет 50-80% от предельной растяжимости раствора, выдержанного при 100%-ной влажности [10]. Уже на этой стадии происходит формирование дефектной структуры в штукатурке (непрореагировавшие с водой зерна цемента, поры и трещины) и в контактной зоне с газобетонным основанием (рис. 1).

При эксплуатации эти дефекты получают развитие (рис. 2). Причиной развития дефектов

являются напряжения (δ), возникающие из-за разницы деформаций кладки и штукатурного покрытия ($\Delta\epsilon$):

$$\delta = \frac{\Delta\epsilon * E}{1 - \mu}, \quad (1)$$

где E и μ – модуль упругости и коэффициента Пуассона штукатурного покрытия; $\Delta\epsilon$ – разность деформаций штукатурки и газобетонного основания.

ния.

Штукатурный раствор разрушается вследствие раскалывания заполнителей из-за нарушения сцепления цементного камня с заполнителем или от разрушения цементного камня.

При эксплуатации происходит деформация стеновой конструкции, кладки под воздействием температуры, постоянных и временных нагрузок, усадки кладочного раствора, карбонизации газобетона, увлажнения парообразной влагой, мигрирующей из помещения и конденсирующейся внутри конструкции [11]. Деформации штукатурного покрытия происходят из-за увлажнения атмосферной влагой, воздействия плюсовых и минусовых температур, деформации кладки (рис. 3, 4).

$$\Delta L_p = \alpha \Delta T^p L; \Delta L_c = \alpha \Delta T^c L; \quad (2)$$

$$\Delta L_{ms} = (\alpha \Delta T L F_m) + (\Delta L_q L), \quad (3)$$

где ΔL_p , ΔL_c – деформации растяжения и сжатия; α – коэффициент температурного удлинения материала; ΔT – разность температур; L – длина стенового элемента; $\Delta L_{тв}$ – тепловлажностные деформации; F_m – показатель материальных дефектов; ΔL_q – влажностные деформации.

Из-за температурно-влажностных деформаций в штукатурном покрытии возникают растягивающие напряжения (δ), которые становятся причиной развития трещин в нем и являются составляющими напряжений, вызывающих разрушение контактной зоны «кладка – штукатурное покрытие».

$$\delta = \kappa[\alpha + b(\sqrt{L-c})]\delta^*, \quad (4)$$

$$\delta^* = E \cdot \alpha t \cdot \Delta t$$

где E , αt – соответственно, модуль упругости и коэффициент линейного расширения штукатурного покрытия; Δt – расчетный перепад температур.

Из-за разности коэффициентов температурного расширения, модуля упругости газобетона и штукатурного

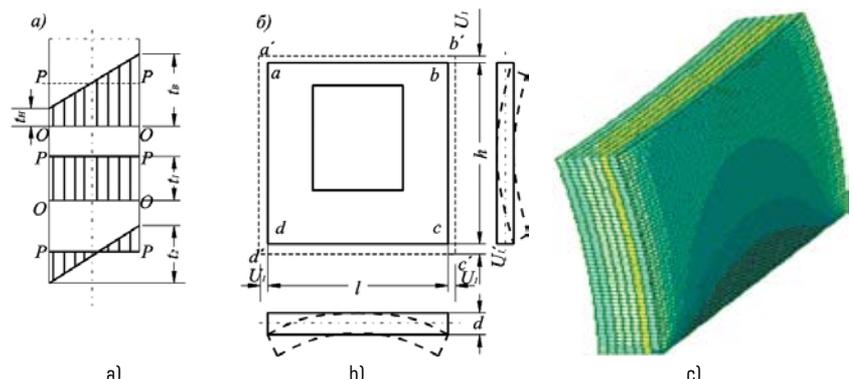


Рисунок 4. Температурные деформации (а, б) и напряжения в стеновой конструкции (с)

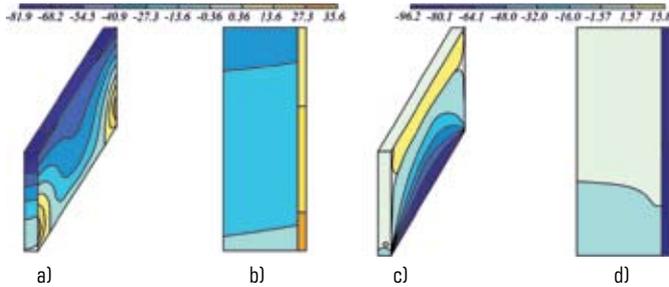


Рисунок 5. Температурные деформации и напряжения: а), с) – в ограждающей конструкции, б), d) – в контактной зоне «кладка – штукатурное покрытие»

покрытия в контактной зоне между ними возникают напряжения сдвига (рис. 5):

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right], \quad (5)$$

где τ – напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²; ΔT_1 , ΔT_2 – разность температуры штукатурного покрытия и кладки, °С; α_1 , α_2 – коэффициент термического расширения кладки и штукатурного покрытия; E_1 , E_2 – модули упругости кладки и штукатурного покрытия, кгс/см².

Эти напряжения и являются основной причиной развития магистральной трещины в контактной зоне между штукатуркой и кладкой со скоростью (dl/dN) (рис. 5):

$$dl/dN = A(\Delta K)^n, \quad (6)$$

где A и n – эмпирические коэффициенты, $n=2-7$, с увеличением хрупкости материала n увеличивается; $\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$ – перепад коэффициента интенсивности напряжений за один цикл, N – число циклов

$$dl/dN = C_0 (K_{\max} - K_{th} / K_c - K_{\max}^q), \quad (7)$$

где C_0 , q – эмпирические величины, K_{th} – пороговый коэффициент интенсивности напряжений, K_c – вязкость разрушения.

Для такой системы характерно усталостное разрушение при относительно низком уровне напряжений и частой их цикличности. Трещина развивается на границе двух разнородных материалов с отличительными свойствами – газобетонной кладке и штукатурке (рис. 6).

Основной причиной ее развития является изменение деформаций и напряжений в вершине трещины, возникающих при увлажнении-высушивании, нагревании-охлаждении стеновой конструкции. При нагревании, увлажнении или при их совместном воздействии происходит увеличение деформаций в контактной зоне «газобе-

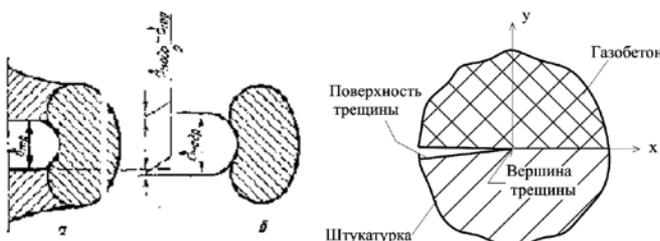


Рисунок 6. Характер трещинообразования в контактной зоне «газобетонная кладка – штукатурное покрытие»

тонная кладка – штукатурное покрытие». Это приводит к увеличению радиуса кривизны вершины трещины. Пока уровень напряжений меньше значения адгезионной и когезионной прочности, трещина не растет. Когда напряжения в устье трещины превзойдут предельный уровень, произойдет ее подрастание. На обратном ходе цикла нагружения (снижении температуры или влажности) происходит частичное восстановление геометрии вершины трещины и размера упругопластической зоны, однако в дальнейшем трещина увеличивает свою длину (рис. 7).

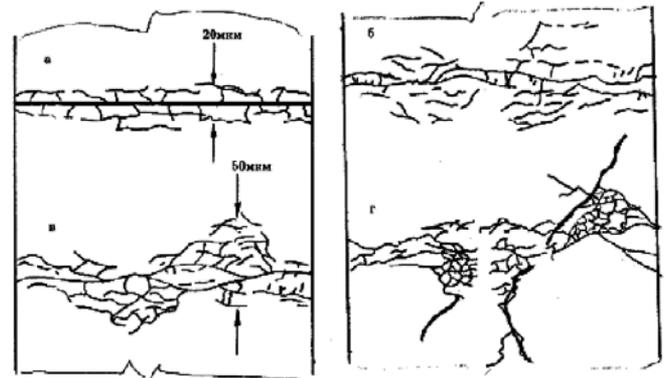


Рисунок 7. Развитие магистральных трещин в штукатурке и контактной зоне «кладка – штукатурка»

Это приводит к разрушению в контактной зоне, отслоению штукатурного покрытия от кладки по преимущественно адгезионному типу. Процесс интенсифицируется из-за наличия влаги, агрессивных жидкостей и газов, отрицательных температур. Так, например, в здании, построенном в г. Рига, уже через 24 года эксплуатации в штукатурке наблюдалось большое количество трещин шириной 0,2-2 мм, на 30% площади фасада штукатурка потеряла сцепление с газобетонной кладкой. Имелись значительные отпадения штукатурки по всему фасаду здания [2].

Следовательно, для повышения долговечности ограждающей конструкции необходимо предотвратить протекание вышеуказанных деструктивных процессов, обеспечить совместность работы газобетонной кладки и штукатурного покрытия. Для этого еще на стадии подбора состава необходимо задавать такие его свойства, которые обеспечат совместность его работы с газобетонным основанием. Снизить температурно-влажностные деформации и напряжения, вызванные ними, в покрытии и контактной зоне можно путем подбора состава штукатурного покрытия со свойствами, как можно более близкими к свойствам газобетонной кладки. Этого можно добиться, целенаправленно модифицируя растворную смесь, создав условия для формирования бездефектной контактной зоны и штукатурного покрытия.

Для формирования бездефектной контактной зоны следует использовать высокий капиллярный потенциал газобетонного основания. При нанесении растворной смеси поры газобетона будут «присасывать» ее к себе, обеспечивая максимальную площадь контакта между ними. Для этого необходимо, чтобы растворная смесь имела высокую

водоудерживающую способность. Поэтому в ее состав мы вводили наполнитель и наполнитель (карбонатный и перлитовый), водоудерживающий эффект от которых усиливали при помощи эфиров целлюлозы и диспергируемого полимерного порошка (РПП).

При нанесении растворной смеси водная дисперсия полимера проникает в стенки пор, а новообразования цемента конденсируются на силикатах кальция газобетона.

Это обеспечит формирование контактной зоны с малым количеством дефектов, достаточной адгезионной прочностью, трещиностойкостью и эластичностью, позволяющей обеспечивать релаксацию возникающих напряжений в системе «кладка – штукатурное покрытие».

Однако только формирования бездефектной контактной зоны недостаточно. Если у штукатурного раствора прочность и модуль упругости будут большими, чем у газобетонного основания, то при высокой прочности контактной зоны разрушение будет происходить по газобетону (когезионное разрушение). Необходимо чтобы штукатурный раствор и кладка имели сопоставимые прочность и модуль упругости, температурные и влажностные деформации. В этом случае формирование достаточно прочной, эластичной контактной зоны обеспечит совместную работу слоев системы «кладка – штукатурное покрытие».

Уменьшение модуля упругости штукатурки приведет (в соответствии с формулами 1, 4, 5) к уменьшению растягивающих напряжений в штукатурке, напряжений сдвига и скорости продвижения магистральной трещины в контактной зоне. Этого можно добиться введением в смесь мелкого заполнителя и наполнителя с низким модулем упругости (карбонатный, перлитовый), РПП и полимерной фибры. Снижение модуля упругости штукатурного

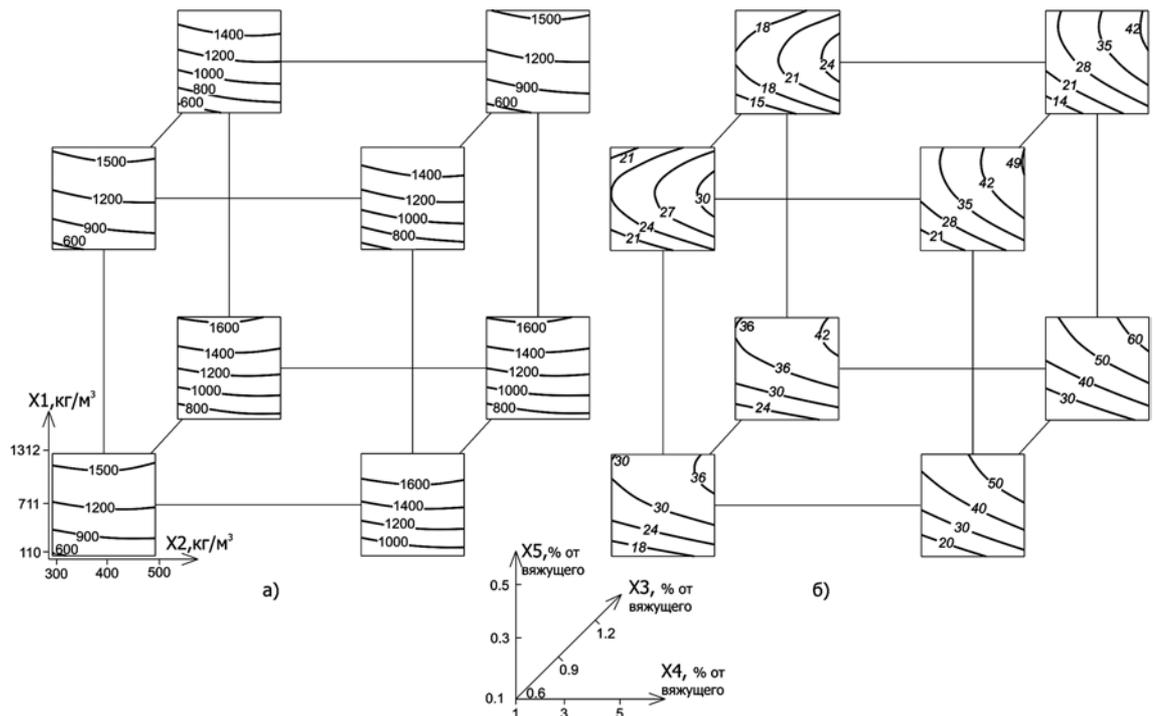


Рисунок 8. Средняя плотность (а) и прочность при сжатии (б) штукатурного раствора

раствора, уменьшение его температурных и влажностных деформаций обеспечит повышение трещиностойкости и долговечности системы «кладка – покрытие».

Исходя из вышеизложенных теоретических предпосылок нами были подобраны рецептуры штукатурных смесей на смеси заполнителей и наполнителей – карбонатном и перлитовом. Модифицирующий эффект усиливали введением РПП Winnapas 8031 Н и Tylose MBZ 15009. Для оптимизации рецептурно-технологических параметров использовали пятифакторный план со следующими варьируемыми факторами, приведенными в табл. 1.

В результате получена штукатурка, позволяющая обеспечить совместность работы газобетонной кладки со штукатурным покрытием и тем самым – высокую долговечность стеновой конструкции. Основные физико-механические характеристики штукатурки: средняя плотность 600-1300 кг/м³, прочность при сжатии 15-60 кг/см² (рис. 8).

Применение такой штукатурки позволило уменьшить напряжения в системе «кладка – покрытие» (табл. 2), повысив трещиностойкость раствора (рис. 9). Так, у известково-цементно-песчаной штукатурки трещинообразование произошло при деформации 0,16-0,18 мм, у перлитовой на цементно-известковом вяжущем – при 0,2-0,22 мм, а у модифицированной – при деформации 0,52-0,62 мм.

Таблица 1. Уровень варьирования пятифакторного плана

Расход материалов на 1 м³ раствора					
Уровень варьирования	Вяжущее, кг/м³	Заполнитель и наполнитель, м³/м³	Фибра, кг/м³	РПП, Winnapas 8031 Н, %	Tylose MBZ 15009, %
	X1	X2	X3	X4	X5
1	500	1,05/1	1,2	5	0,5
0	400	1,05/1	0,9	3	0,3
-1	300	1,05/1	0,6	1	0,1



Рисунок 9. Определение трещиностойкости раствора

Таблица 2. Напряжения в системе «кладка – покрытие»

№ п/п	Средняя плотность газобет. штукатур., кг/м ³		Напряжения min, т/м ²	Напряжения max, т/м ²
1	400	1200	-1,72	0,369
2	400	1800	-5,46	0,537
3	500	1200	-3,43	0,477
4	500	1800	-4,48	0,695
5	600	1200	-1,74	0,583
6	600	1800	-8,33	0,865

Приведенные данные свидетельствуют о том, что подбор рецептуры штукатурной смеси с учетом механики разрушения обеспечивает совместность работы «газобетонная кладка – штукатурное покрытие», что повышает долговечность стеновой конструкции и позволяет достичь оптимальных условий ее эксплуатации.

Библиографический список

- Емельянов А.А. Повреждения наружных панелей жилых полносборных зданий при температурных деформациях по данным натурных исследований. // Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций / Под ред. А.А. Шишкина. – М.: Издательство литературы по строительству, Выпуск 2, 1964, с. 153-177.
- Силаенков Е.С., Зарин Р.А., Рудин П.В. Опыт эксплуатации газобетонных конструкций // Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций / Под ред. А.А. Шишкина. – М.: Издательство литературы по строительству, Выпуск 2, 1964, с. 137-153.
- Гагарин В.Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем // АВОК, № 6, 2007, с. 34-36.
- Паплавский Я., Фрош А. Требования к штукатурным составам для наружной отделки стен из ячеистых бетонов. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения. Штукатурные составы для наружной отделки стен из газобетона: материалы семинара; под редакцией Н.И. Ватина, – СПб.: Изд-во. Политехнического ун-та, 2010, с. 10-15.
- СТО 501-52-01-2007 ч. I «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации», Москва, 2009 г. 68 с.
- EN 998-1:2003 «Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar», 32 с.
- Грануэ Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва. Стройиздат. 1980. – с. 234.

- Технические решения стен многоэтажных зданий из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения. Альбом-пособие для проектирования и производства работ, НИИСП Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, Франивский А.А., Парута В.А. и др., Киев, 2011, 189 с.
- Сажнева Н.Н., Сажнев Н.П., Урецкая Е.А. Защитные системы для отделки ячеистого бетона пониженной плотности // Строительные материалы, 2009. № 1, с. 17-19.
- Халимов Р.К. Исследование совместной работы строительных материалов в составе современных многослойных теплоэффективных наружных стен зданий, Диссертация ... канд. техн. наук, Специальность: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия; Уфа, 2007.
- Константинов А.В. Преимущества перлитовых штукатурок «Юнимикс» для облицовки стен из газобетона // В сб. Штукатурные составы для наружной отделки стен из газобетона: материалы семинара / Под ред. д.т.н. Н.И. Ватина, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010, с. 47-48.
- Пособие по проектированию малоэтажных зданий из автоклавного бетона с альбомом технических решений, «УкрНДИПротивильсьбуд» Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, Буравченко С.Г., Парута В.А. и др., Киев, 2011, 163 с.
- Homann M. Richtig Bauen mit Porenbeton. Stuttgart, 2003, 268 с.
- Helmut Künzel. Außenputz. Untersuchungen, Erfahrungen, Überlegungen, Fraunhofer. IRB Verlag, 2003.

Статья была представлена на научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон», состоявшейся в Краснодаре в мае этого года. Ее организатором выступила Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона.

НОМУС

ТОВАРЫ ДЛЯ ОФИСА

- КАНЦТОВАРЫ
- БУМАГА
- ОРГТЕХНИКА
- РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- ХОЗТОВАРЫ
- БЫТОВАЯ ТЕХНИКА
- ОФИСНАЯ МЕБЕЛЬ

Бесплатная доставка в офис
Экономьте время и деньги!

www.nomus.ru

(495) 361-32-00, 361-33-62,
361-09-90, 362-59-08